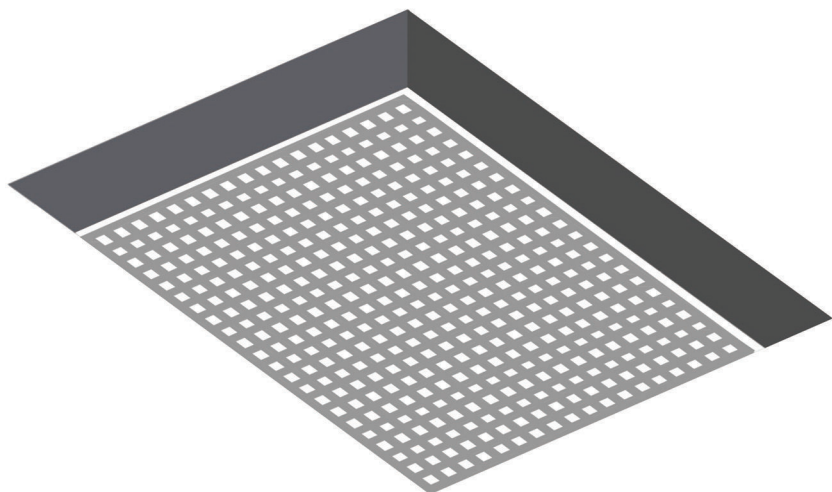
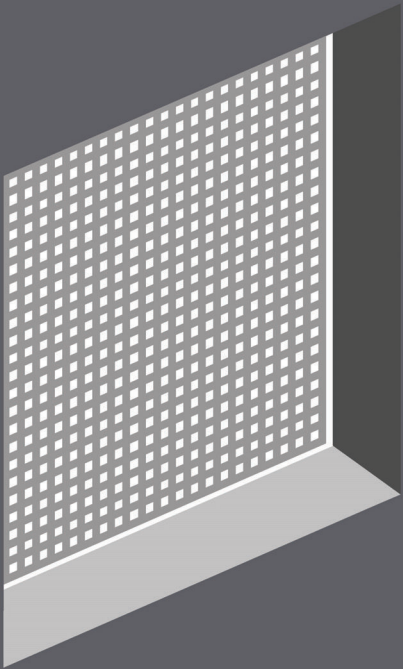


NAPOMENA

određene stranice nisu prikazane u elektronskoj verziji dokumenta

AMIRA SALIHBEGOVIĆ

TRANSPARENTNE
OVOJNICE I
MATERIJALI U
ARHITEKTURI



Amira Salihbegović

TRANSPARENTNE OVOJNICE I MATERIJALI U ARHITEKTURI

Izdavač: Arhitektonski fakultet Univerziteta u Sarajevu
Za izdavača: prof. mr. Mevludin Zečević, arhitekt

Autorica: doc. dr. Amira Salihbegović, arhitekt

Naziv djela: TRANSPARENTNE OVOJNICE I MATERIJALI U ARHITEKTURI

Recenzenti: emeritus prof. dr. Šahzija Đonlagić-Dreca, arhitekt
redovni profesor u penziji Arhitektonskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu
prof. dr. Zoran Veršić, arhitekt
vanredni profesor Arhitektonskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Lektorica: Selma Grahić-Bilić

Grafička obrada: Amra Salihbegović, Maida Salihbegović Čirak

Štampa: Pentagram d.o.o., Sarajevo
Godina izdavanja: 2018.

Tiraž: 150

CIP - Katalogizacija u publikaciji
Nacionalna i univerzitetska biblioteka Bosne i Hercegovine, Sarajevo

72.012:[698.3:699.86/88

SALIHBEGOVIĆ, Amira
Transparentne ovojnice i materijali u arhitekturi [Elektronski izvor] / Amira Salihbegović. - El. knjiga. - Sarajevo : Arhitektonski fakultet, 2018

Način dostupa (URL): http://af.unsa.ba/pdf/publikacije/Salihbegovic_Amira_Transparentne_ovojnice_i_materijali_u_arhitekturi.pdf. - Nasl. sa nasl. ekrana. - Opis izvora dana 6. 11. 2018.

ISBN 978-9958-691-73-7

COBISS.BH-ID 26557958

AMIRA SALIHBEGOVIĆ

TRANSPARENTNE OVOJNICE I MATERIJALI U ARHITEKTURI

ARHITEKTONSKI FAKULTET U SARAJEVU

Sarajevo, 2018.

SADRŽAJ

PREDGOVOR

UVOD

EVOLUCIJA TRANSPARENTNIH OVOJNICA.....	15
1.1 Od arhitektonskih elemenata otvora – prozora do transparentnih ovojnica.....	15
1.2 Tragom prošlosti i kontinuiranih vrijednosti.....	30
FAKTORI PRIRODNOG OKRUŽENJA I TRANSPARENTNE OVOJNICE.....	33
2.1 Elektromagnetno zračenje Sunca.....	34
2.2 Transformacijski procesi zračenja i transparentne ovojnice.....	41
TRANSPARENTNE OVOJNICE I PARAMETRI UGODNOSTI ARHITEKTONSKOG PROSTORA.....	51
3.1 Djelotvornost sunčeve energije na zdravlje i produktivnost ljudi.....	52
3.2 Parametri koji određuju klimu arhitektonskog prostora (kriptoklimu).....	54
3.2.1. Parametri toplinske ugodnosti.....	55
3.2.1.1 Parametri koji određuju toplinske karakteristike čovjeka.....	55
3.2.1.2 Parametri koji određuju toplinske karakteristike arhitektonskog prostora.....	59
Temperatura zraka i unutrašnjih površina prostora.....	59
Relativna vlažnost zraka i unutrašnjih površina prostora.....	62
Brzina strujanja i sastav unutrašnjeg zraka.....	64

3.2.2 Parametri kvaliteta osvjetljenosti arhitektonskog prostora.....	69
3.2.3 Nivo zvučne energije u arhitektonskom prostoru.....	75
MATERIJALIZACIJA TRANSPARENTNIH OVOJNICA – MATERIJALI, KONCEPTI I KOMPONENTE.....	77
4.1 Staklo kao građevinski materijal.....	78
4.1.1 Historija i proces proizvodnje stakla.....	78
4.1.2 Fizikalna svojstva stakla.....	80
4.2 Koncepti ovojnica od stakla.....	81
4.2.1 Stakla u funkciji toplinske zaštite.....	81
4.2.1.1 Konvencionalna termoizolacijska stakla.....	84
4.2.1.2 Niskoemisiona (Low-E) termoizolacijska stakla.....	86
4.2.2 Stakla u funkciji zaštite od sunca.....	90
4.2.2.1 Konvencionalna izolacijska stakla za zaštitu od sunca.....	90
4.2.2.2 Visokoselektivna stakla za zaštitu od sunca.....	91
4.2.3 Stakla u funkciji zaštite od buke.....	92
4.2.4 Stakla u funkciji sigurnosti ljudi.....	96
4.2.4.1 Kaljena sigurnosna stakla.....	96
4.2.4.2 Lamelirana sigurnosna stakla.....	97
4.2.5 Vakumirana stakla.....	100
AKTIVNE I INTELIGENTNE TRANSPARENTNE OVOJNICE U FUNKCIJI UPRAVLJANJA I SKLADIŠTENJA SOLARNE ENERGIJE	103
5.1. Aktivne, dvostruke transparentne ovojnice.....	103
5.1.1 Tipologija dvostrukih transparentnih ovojnica.....	109
5.1.1.1 Koncepti dvostrukih ovojnica prema konstrukciji i geometriji međuprostora – particioniranju.....	109
Dvostruke višespratne ovojnice.....	109
Dvostruke <i>koridor</i> ovojnice.....	110
Dvostruke ovojnice sa <i>šah</i> t ventilacijskim oknom.....	111
Dvostruke ovojnice sa <i>sandučastim</i> , kutijastim elementima.....	111
5.1.1.2 Koncepti dvostrukih ovojnica prema tipu ventiliranja.....	112
5.1.1.3 Koncepti dvostrukih ovojnica prema modelu strujanja zraka u međuprostoru.....	113
5.2 Inteligentne transparentne ovojnice.....	114
5.2.1 Ovojnice s termohromatskim staklom.....	115
5.2.2 Ovojnice s fotohromatskim staklom.....	116
5.2.3 Ovojnice s elektrohromatskim staklom.....	116
5.2.4 Ovojnice s tečnim kristalima.....	120
5.3 Transparentne ovojnice s fotonaponskim ćelijama za konverziju solarne energije.....	122
5.3.1 Klasifikacija i komponente fotonaponskih modula.....	123
5.3.2 Područje primjene i energetska efikasnost.....	128
5.4 Interaktivne transparentne ovojnice za skladištenje solarne energije.....	132
5.4.1 Koncept ovojnica s fazno promjenljivim materijalima (PCM).....	133
5.5 Adaptabilne ovojnice.....	137
INTEGRIRANE KOMPONENTE – TRANSPARENTNI IZOLACIJSKI MATERIJALI (TIM) I STATIČNI ILI MOBILNI ELEMENTI ZAŠTITE OD SUNCA	141
6.1 Transparentni izolacijski materijali (TIM).....	141

6.1.1 Koncepti ovojnice s integriranim transparentnim izolacijskim materijalima.....	142
6.1.2 Klasifikacija, geometrijska, fizikalna i tehnička svojstva TIM-a.....	143
6.1.3 Područje primjene.....	148
6.2 Integrirani statični ili mobilni sistemi zaštite od sunca.....	152
INOVATIVNI SISTEMI ZA UVOĐENJE I TRANSPORT DNEVNE SVJETLOSTI.....	161
7.1 Heliobus sistem.....	164
7.1.1 Metode rada, elementi i primjena <i>Heliobus</i> sistema.....	165
7.2 Sistemi s optičkim vlaknima.....	170
TRANSPARENTNI, TRANSLUCENTNI MATERIJALI.....	173
8.1 Transparentne membrane kao građevinski materijali.....	174
8.1.1 Tipologija i svojstva arhitektonskih membrana.....	176
8.1.1.1 Transparentne ovojnice od PVC, PTFE, PVDF i ETFE membrana.....	176
8.1.1.2 Područje primjene.....	181
8.1.1.3 Prednosti i nedostaci tekstilnih membrana u odnosu na staklo.....	184
8.2 Transparentni, translucetni betoni.....	186
8.2.1 Proizvodni proces i svojstva translucetnog betona.....	186
8.2.2 Područje primjene.....	189
8.3 Transparentni, translucetni kamen.....	192
8.3.1 Proizvodni proces i svojstva translucetnog kamena.....	192
8.3.2 Translucetni kamen i LED paneli.....	195
8.3.3 Područje primjene.....	196
8.4 Transparentno drvo.....	201
8.4.1 Proizvodni proces - delignifikacija i svojstva transparentnog drveta.....	202
8.4.2 Područje primjene.....	203
TRAGOM BUDUĆNOSTI TRANSPARENTNIH OVOJNICA.....	205
LITERATURA.....	209
INDEX SLIKA.....	215
IZVOD IZ RECENZIJA.....	228

PREDGOVOR

Ova knjiga rezultat je dugogodišnjeg istraživačkog rada, traganja za odgovorima i interesiranja za ovu, prije svega, neiscrpu i uvijek aktuelnu, plodnu tematiku. Lako sam kročila na ovaj put, učeći od uvažanih profesora i radeći kao asistentica na predmetima Ograđujuće plohe arhitektonskog prostora, Arhitektonska fizika i Konstruktivni sistemi u arhitekturi. Tragajući za vrijednostima, razlozima, porijeklu nastanka mušepka, arhitektonskih elemenata otvora gradske kuće orijentalnog tipa u BiH, došlo se do spoznaje značaja kontinuiteta tradicionalnih vrijednosti u arhitekturi, kao poveznice između prošlosti i budućnosti. Vrijedno je podsjetiti da su one odraz zadovoljenja psihofizičkih i estetskih potreba čovjeka s jedne, a prirodnih i društveno-socioloških utjecaja, s druge strane.

Fokusirajući istraživanja na transparentne ovojnice, bio je neophodan sveobuhvatan pristup ovoj problematici, kako bi se stekla saznanja i spoznali temeljni principi materijaliziranja najdinamičnijih površina ovojnica arhitektonskog objekta. Ovo je podrazumijevalo upoznavanje s evolucijom, od pojedinačnih *otvora u zidu* do transparentnih zavjesa, s kompleksnim konceptima, problemima i unapređenjima, materijalima, komponentama te arhitektonskim realizacijama. Pojam transparentnosti, kao tehnološki osposobljene optičke karakteristike materija, već odavno nije upitan, jer se razvoj arhitektonskog stakla u kontinuitetu usavršava. Ali, distribuiranje, transport, upravljanje,

kontrola sunčevog zračenja, s komponentama i drugim translucenčnim materijalima, danas predstavljaju izazov i inovaciju.

S obzirom na to da je riječ o arhitektonskim elementima objekta, koji reguliraju klimu unutrašnjeg prostora, ali i koji su aktivno, logički integrirani s ostalim funkcijama servisiranja objekta (grijanje, hlađenje, ventilacija i osvjetljenje), važno je razumijevanje informacija i inkorporiranje tih saznanja kod svakog arhitektonskog koncepta. Na taj način olakšava se kontrola kreativnih projektantskih realizacija u procesu projektiranja, a sprečava nasumično preuzimanje detalja i apliciranje rješenja. Svrha ovog rukopisa nije preferiranje transparentne arhitekture, arhitekture stakla ili translucenčnih materijala, bez uvažavanja posebnosti mjesta, kulture, tradicije i arhitektonskog konteksta. Svako poglavlje predstavlja određen nivo unapređenja, kao odgovor na prioritete, a danas su to održivost i energetska efikasnost u arhitekturi.

Knjiga je namijenjena širem krugu korisnika: studentima, projektantima i onima koji se bave istraživanjima u oblasti arhitekture i građevinarstva, te učestvuju u realizaciji objekata. Predodžbom temeljnih principa, tehničko-tehnoloških rješenja transparentnih ovojnica i materijala, nastoji se olakšati put pri eksperimentiranju i kreiranju arhitektonskih ideja. Razumijevanjem tehnoloških inovacija, inovativnih materijala, tehničkih rješenja, olakšao bi se put stjecanja kompetencija i donošenja projektantskih odluka važnih za materijaliziranje transparentnih ovojnica objekta.

Sarajevo, oktobar 2018. godine

Autorica

UVOD

Projektovanje od spolja prema unutra, kao i od unutra ka spolja, stvara potrebne napetosti koje pomažu stvaranje arhitekture. Pošto je unutrašnjost različita od spoljašnjosti, zid - tačka promjene - postaje arhitektonski događaj. Arhitektura nastaje pri susretu unutrašnjih i spoljašnjih sila upotrebe i prostora. Ove unutrašnje sile i sile okoline su i opšte i posebne, sveobuhvatne i okolnosne.
(Venturi, 1999: 180)

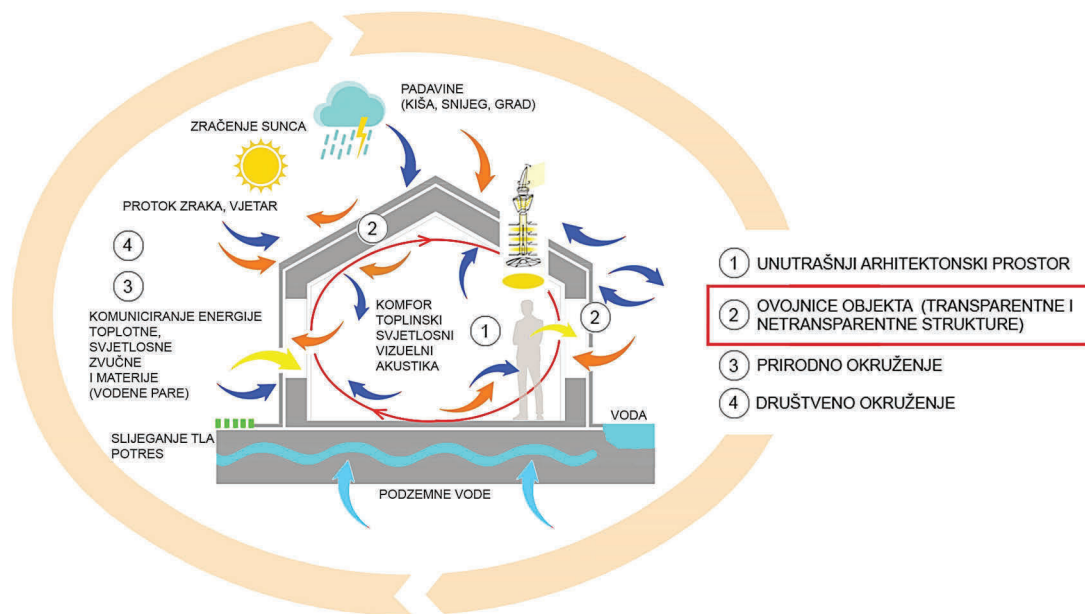
Transparentne ovojnice objekta specifično su materijalizirane strukture, pozicionirane na granicama volumena, kao istureni arhitektonski elementi objekta. Predstavljaju *prazne* površine ovojnice objekta, *interval mase*, medije za filtriranje i manipuliranje dnevnom svjetlošću, kompleksne i višeznačne uloge.

Ovojnice objekta možemo definirati i kao *okvire života*, te se tragom graditeljske baštine uviđa da sve civilizacije imaju *okvire* prepoznavanja, svoju arhitekturu: antička, srednjovjekovna, renesansna, barokna, orijentalna, moderna... One doprinose vizuelnoj predodžbi i istini o arhitekturi, njenom društvenom, kulturnom i drugom miljeu. U okviru njih, transparentne su površine ključne u interakciji između unutrašnjih sila, definiranih potrebama čovjeka, i vanjskih sila, definiranih prirodnim i društvenim okruženjem. Stoga su ovojnice uvijek bile najinteresantnije površine za oblikovanje i percipiranje arhitektonske forme te površine za

eksperimentiranje arhitekata.¹ Također su i žarišta interesovanja svih onih koji učestvuju u procesu građenja i bave se naučno-istraživačkom djelatnošću, proizvodnjom građevinskih materijala i inovacijama.

Fizikalni procesi i kontradiktorni zahtjevi na granicama arhitektonskog prostora, *sukobi stalnosti i promjena*, nametnuli su kompleksnost funkcija transparentnih ovojnica objekta. Primarno osiguravaju prirodno osvjetljenje, provjetravanje i vizuelne komunikacije, a da bi se ostvarila ugodna klima arhitektonskog prostora ove funkcije moraju biti kontrolirane. Tu su i funkcije zaštite, kao što su toplinska, zaštita od sunca, zvučna zaštita, zaštita ljudi od vremenskih nepogoda, požara i sl. Dopunske funkcije transparentnih ovojnica danas su sve aktuelnije. One se odnose na upravljanje, korištenje i skladištenje solarne energije, što se postiže pametnim i adaptabilnim, odnosno interaktivnim ovojnicama.

Multifunkcionalna dimenzija transparentnih ovojnica reflektira se i na oblik i estetske karakteristike, odnosno doživljaj i interpretaciju arhitekture. Zbog toga arhitektonske ovojnice ne možemo posmatrati odvojeno, kao zasebnu arhitektonsku komponentu s kompoziciono-estetskom dimenzijom, ili kao barijeru, s ulogom razdvajanja između unutrašnjih i vanjskih uvjeta objekta, već kao prostorno definiranu strukturu putem koje se razmjenjuju energija i materija (slika 1).



Slika 1. Arhitektura kao energetski sistem

¹ Za arhitekta Pellija i njegove saradnike ovojnice su najizražajniji arhitektonski element objekta, *epiderma* kojom se prenose arhitektonske ideje, sijaju toplotu intelektualne radoznalosti i svjetla arhitektonskog eksperimentiranja (Crosbie, 2005: 18).

S aspekta optimalnih kondicija unutrašnjeg prostora i toplinskog bilansa objekta, transparentne ovojnice imaju dominantnu ulogu. Površine su komuniciranja, *mijene* reguliranja tokova energije i materije, kao i drugih oprečnih zahtjeva na relaciji unutrašnji – vanjski prostor i obrnuto (Salihbegović, 2004a: 4). Često su tretirane kao *slaba* mjesta granica objekta, površine povećanih gubitaka i dobitaka energije. Pored toga, one mogu doprinijeti tome da arhitektonski prostor usljed interakcije s prirodnim okruženjem, bude narušenog toplinskog, svjetlosnog, akustičnog ili vizuelnog komfora.

Uvođenje dnevne svjetlosti putem transparentnih ovojnica reflektira se na arhitektonski koncept, funkcionalnu organizaciju, vertikalni i horizontalni plan, te na konstrukciju i formu objekta. Dnevna svjetlost čini arhitektonski prostor upotrebljivim. Može ga mijenjati, transformirati, činiti prozračnim i dopadljivim, mračnim ili mističnim, prividno većim ili manjim. Svjetlost ima ulogu i materijala (Phillips, 1971: 3). U arhitekturi stakla, transparentne ovojnice su dominantne i odlučujuće za stjecanje *imidža modernosti*, artikuliranog interakcijom dnevne svjetlosti i ljudskog oka. Pri ovome dolazi do izražaja dualnost dnevne *svjetlosti i vizuelni osjećaj lakoće, a transparentnost postaje značajno svojstvo materijala, poetski kvalitet* (Piano, 1997: 253).²

Transparentne ovojnice ključne su, ne samo u procesu projektiranja i odlučivanja, nego i eksploatiranja objekta, dimenzijom pozitivnog dijaloga s prirodnim okruženjem. Optimalni termalni komfor, ravnomjerno prirodno osvjetljenje, vizure te stvaranje energetski neovisnog i klimatski odgovornog objekta, u najvećoj mjeri zavisi od dizajna transparentnih ovojnica. Njihov angažman u cjelokupnom servisnom sistemu objekta, utječe i prostorno definira uravnotežen životni ambijent (toplinski, svjetlosni, akustični i vizuelni komfor). Transparentne ovojnice dijelovi su granica, *epiderme* arhitektonskog objekta, fizički *zahvaćenog* prirodnog prostora, i predstavljaju najdinamičnije arhitektonske elemente. Kontradiktorni zahtjevi postavljeni pred transparentne ovojnice očituju se kompleksnošću funkcija koje trebaju zadovoljiti:

1. Primarna funkcija

- osvjetljenje – kontrolirano
- vizure – intima
- provjetranje – kontrolirano

2. Funkcije zaštite

- toplinska
- zaštita od sunca

² *U arhitekturi sam imidž modernosti u suštini je izveden iz interakcije svjetlosti i ljudskog vida, artikuliran tektonskom manipulacijom zatvorenih elemenata, otvora, zastakljivanja i unutrašnjih prostora. Lakoća je instrument, a transparentnost poetski kvalitet. Ovo je veoma važna razlika* (Piano, 1997: 253).

- zvučna zaštita
- zaštita od vremenskih nepogoda, požara
- zaštita od provala

3. Dopunska funkcija (danas veoma aktualna i često prioritarna)

- upravljanje solarnom energijom
- pretvaranje solarne energije u električnu (energetski dobici)
- skladištenje energije

4. Kompoziciono-estetska dimenzija

Tragom prošlosti i evolucijom dizajna modernih, tehničko-tehnoloških realizacija, uočeno je permanentno zanimanje i aktualnost problematike materijaliziranja ovih arhitektonskih elemenata objekta. Tradicionalni principi materijaliziranja, kao što su multifunkcionalnost i višeslojnost, kontinuirane su vrijednosti, koje su kroz svoj razvojni put uvijek nalazile rješenja, konstrukciju, materijal, a shodno tehnološkom nivou i estetski izraz. Osvrtanje na tradicionalne principe i vrijednosti transparentnih ovojnica, te njihovo transponiranje, predstavljaju put ka odgovornoj arhitekturi i nadu za bolju budućnost.

Evolucijom transparentnih ovojnica, njihovom funkcionalnom metamorfozom naglašena je kompleksnost problematike i neophodnost integriranog pristupa projektiranju, kako bi se unaprijedio životni ambijent i reducirale energetske potrebe objekta. To je naročito važno zbog toga što živimo u vremenu degradacije čovjekove sredine i neodgovornog odnosa društva naspram prirode. Već decenijama nas prate posljedice složenih konstanti energetske, ekološke, ekonomske krize, ali i drugih konstanti, koje su u dinamičnom interakcijskom odnosu. Također, burna socijalna, geopolitička i kulturna dešavanja vode svijet ka neizvjesnoj budućnosti. Zbog toga se posljednjih decenija u arhitekturi i građevinarstvu posvećuje posebna pažnja održivom građenju i dizajnu. To podrazumijeva postizanje optimalnih arhitektonskih okvira za komforan boravišni ambijent, u skladu sa sve strožijim energetske, a prije svega ekološkim zahtjevima. Činjenica da je gradnja u svojoj ukupnosti, kao i eksploatacija sagrađenog, u toku njegovog životnog ciklusa, povezana sa srazmjerno velikom potrošnjom energije, dodatno potcrtava značaj razvoja principa održivog građenja. Osviješteni pristup arhitekturi, u skladu s *novonastalim* zahtjevima i potrebama, nametnuo je širi interdisciplinarni pristup i angažman. Uvažavanjem principa urbanističkog planiranja, arhitektonskog projektiranja i materijaliziranja objekta, naročito njegovih transparentnih ovojnica, utječe se na energetske efikasnost objekta, a time i na održivo građenje i dizajn (Salihbegović, 2012a: 2).

Zbog toga su danas na sceni mnoge strategije održivog razvoja i građenja, održive arhitekture. One su nametnule urgentna djelovanja, te neophodnost tretmana arhitektonskog objekta kao energetske sistema. Arhitektonski objekat nije samo *domicilni* prostor

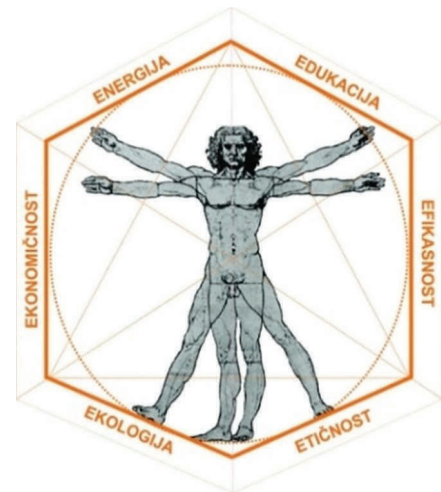
namijenjen ispunjenju egzistencijalnih, psihofizioloških, estetskih i drugih društvenih potreba, već je to prostor koji je, prije svega, u kauzalnoj vezi s prirodnim okruženjem. Holistički pristup ovom problemu uključuje sve više pojmova koji počinju slovom *E*, a koji utječu na sveobuhvatno održivo građenje i arhitekturu. Pojmovi *efikasnost*, *energija* i *ekologija* ili 3E bili su, prema M. Pucar, *simbol jednog novog pristupa rješavanju problema opstanka i razvoja društva* (Pucar, 2006: 16). Prema profesoru Ljubomiru Miščeviću to je 5E: *energija*, *ekologija*, *edukacija*, *ekonomičnost* i *etičnost* (Miščević, 2011).

Tragajući za odgovorima i održivosti u arhitekturi, autorica pronalazi prirodni model (košnicu, pčelinje saće) kao inspiraciju i predlaže model za postizanje harmonije uzajamnih odnosa arhitekture s prirodom i njenim resursima - 7E, kao simbol održive gradnje i dizajna. Optimalne kondicije arhitektonskog prostora postignute **energetski i ekološki efikasnom i ekonomičnom** gradnjom, uz **edukaciju i etičnost**, rezultiraju i arhitekturom posebnih **estetskih** vrijednosti (slika 2).



a) Pčelinje saće: $t_i = +30\text{ }^\circ\text{C}$
 $t_e = -10\text{ }^\circ\text{C}$

Optimalne kondicije arhitektonskog prostora, postignute **energetski i ekološki efikasnom i ekonomičnom** gradnjom, uz **edukaciju i etičnost**, posebnih su **estetskih** vrijednosti.



b) Simbol održive gradnje i dizajna - 7E

Slika 2. Put postizanja harmonije uzajamnih odnosa arhitekture s prirodom i njenim resursima



Slika 120.
Dietrich Schwarz, *Retirement Community*, Domat/Ems, Švicarska, 2004.



Slika 121.
Butikofer de Oliveira Vernay, *College de Cambach*, Fribourg, Švicarska, 2010.



Slika 122.
Beat Kämpfen, *Marché International Support Office*, Kempththal, Švicarska, 2007.

5.5 Adaptabilne ovojnice

Koncept adaptabilnosti, prilagođavanja transparentnih ovojnica, začet je još otvorom u vanjskom zidu. Taj *interval* mase kontinuirano je bio element oprečnih funkcionalnih zahtjeva i prilagođavanja. Čovjek je u okviru svojih psihofizičkih i egzistencijalnih potreba, kroz graditeljska iskustva, ispoljavao naklonost za adaptabilnošću i prilagođavanjem prirodnim uvjetima. Kompleksnost rješenja zavisila je od sociodruštvenih potreba (način i filozofija života), raspoloživosti materijala, od inventivnosti i tehničkih vještina graditelja. Korišteni su različiti materijali – perforirane kamene ploče, razapinjana životinjska koža, mjehur, platno, pleter ili drugi prozirni materijali. Za zaštitu od atmosferilija (udara kiše i vjetra) korišteni su životinjska mast i ulja (Salihbegović, 2004a: 40 – 54). Tokom vremena, otvori su, shodno zahtjevima provjetravanja i bolje toplinske zaštite i privatnosti, dobivali dodatne *duple* elemente, fiksne ili pokretne dijelove (kapci, poklopci, grilje, umrežene tvorbe – mušepci), slika 123.



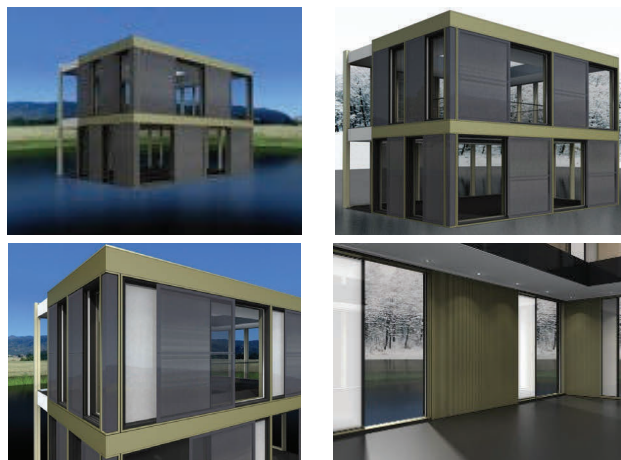
Slika 123. Arhitektonski elementi otvora:

tranzene – u kamenom zidu; prozor s griljama i pokretnim dijelom krila (Boka Kotorska) ili pokretni kapci – tradicionalni evropski prozori; prozor orijentalne arhitekture – arabeska i tradicionalne gradske bosanske kuće – mušebak; savremena interpretacija arabeske – ovojnica Instituta arapske umjetnosti u Parizu;

Mada su i raniji koncepti *inteligentnih* i *aktivnih* transparentnih ovojnica bili zasnovani na prilagođavanju vanjskim uvjetima, oni su statični, s nepromjenljivim toplinskim svojstvima ovojnice i bez mogućnosti uravnoteženog skladištenja energije. Savremena tehnička rješenja

adaptabilnih ovojnica rezultat su kontinuiranih tehnoloških inovacija, pogotovo onih zasnovanih na stvaralačkim principima prirode (Salihbegović i Bradić, 2011: 853–863).

Ovi visokosofisticirani koncepti materijaliziranja transparentnih ovojnica, modernog su dizajna i dinamičnih toplinskih svojstava (promjenljive U-vrijednosti). Predstavljaju jedno od varijantnih rješenja materijaliziranja ovojnica objekta u kontekstu energetske efikasnosti i održivog dizajna. Takav je i inovativni adaptabilni concept, tzv. *2°C Concept*, koji je na arhitektonskoj sceni od 2009. godine.⁷⁵ Princip funkcioniranja zasnovan je na kompleksnoj slojevitosti, s mogućnošću mobilnosti i prilagođavanja pojedinih modula dinamičnim uvjetima: dan-noć, toplo-hladno, ekstremno hladan zimski dan-vrući ljetni dan, vizure-privatnost (slika 124 i 125). Mobilnošću elemenata ovojnice i toplinski aktivnom funkcijom nastoje se, na najbolji način, iskoristiti ekstremni uvjeti okruženja i ostvariti uravnotežene energetske potrebe objekta (Salihbegović, 2012b: 431-337).



Slika 125.

Prototip *Schüco 2°C Concepta*, Munich, 2009.

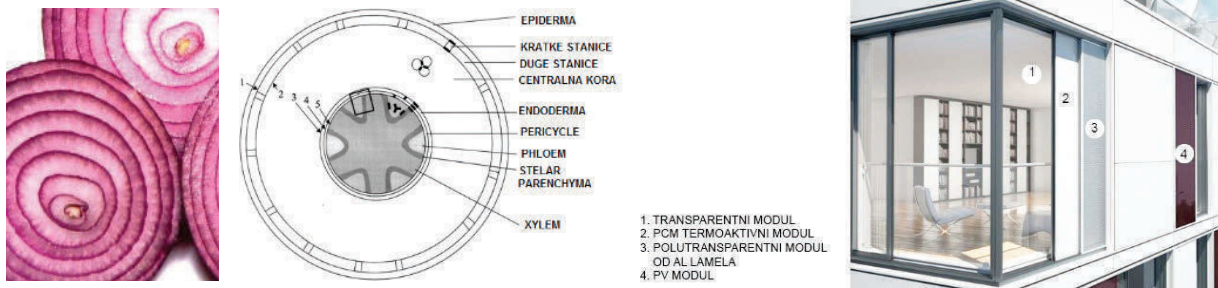


Slika 124.

Paul Sindram: objekat za kolektivno stanovanje (šest stambenih jedinica od 80 do 120 m² površine) u Schleswigu, na sjeveru Njemačke, na kojem je implementiran koncept adaptabilne ovojnice *Schüco 2°C Concept*

Zahvaljujući inovativnim tehnologijama, koje su inspirirane prirodnim modelima, nastao je ovaj adaptabilni koncept. Motiviran je građom lukovice crvenog luka, koju čini više koncentričnih slojeva, razdvojenih biljnih staničnih opni određenih funkcija. Vanjski, primarni, čvrsti sloj lukovice je epiderma, višeslojna, polupropusna opna koja štiti unutrašnje stanice od vanjskih utjecaja i održava stalan oblik i čvrstoću. Endoderma je unutrašnji ključni sloj određenih funkcija koji štiti ostatak stanica lukovice (Salihbegović, 2012b: 431-337). I ovaj inovativni koncept materijaliziranja ovojnica objekta čini više mobilnih, višefunkcionalnih *koverti* modula (slika 126).

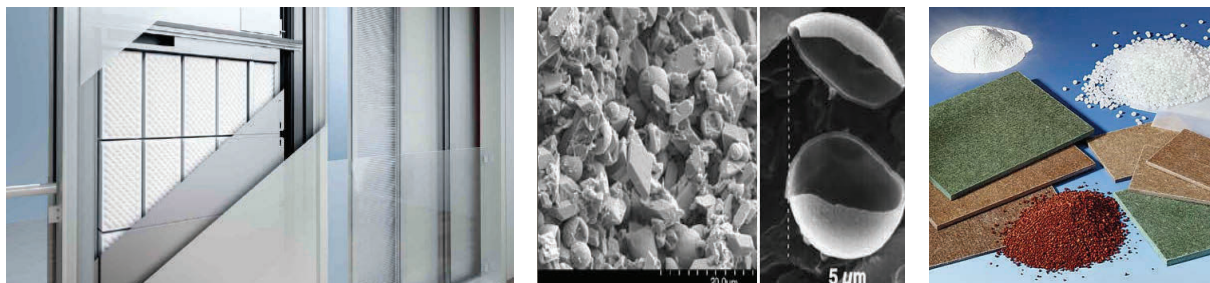
⁷⁵ Plasirala ga je kompanija *Schüco International KG*. (n.d.), simboličnim nazivom. On upućuje na energetske efikasne ovojnice objekta koje mogu ograničiti klimatske promjene, što i jesu bili ciljevi Svjetske konferencije o klimatskim promjenama.



Slika 126. Građa lukovice crvenog luka i $2^{\circ}\text{C Concept}$

Strukturu adaptabilne ovojnice, tzv. $2^{\circ}\text{C Concept}$, čine sljedeći funkcionalni slojevi:

- Prvi unutrašnji sloj jeste transparentni modul, trostruko termoizolacijsko Low-E ostakljenje, s otklopnim ili kliznim mehanizmom otvaranja, visokih toplinskih svojstava ($U = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$) i transmisije vidljivog dijela sunčevog spektra. Ukoliko se i ostali moduli postave u položaj ispred ostakljenja, U-vrijednost je još niža, do $0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Drugi netransparentni modul jeste toplinski aktivni panel sa saćastom ispunom od materijala s faznom preobrazbom PCM-a. Svojstva ovih materijala, integriranih u polimerne mikrokapsule od akrilnog stakla i mogućnost preobrazbe agregatnog stanja (iz tečnog u čvrsto i obrnuto) iskorišteni su za toplinsko temperiranje prostora. Ovo su latentni spremnici koji akumuliraju višak toplote i time održavaju optimalne toplinske kondicije unutrašnjeg prostora. Proces je reverzibilan i ako je temperatura u prostoru niža, PCM modul emitira akumuliranu energiju unutrašnjem prostoru (Weber i dr., 2011: 118). Mobilni izolacijski moduli osiguravaju pojačanu toplinsku izoliranost i pružaju sigurnost i intimu (slika 127).

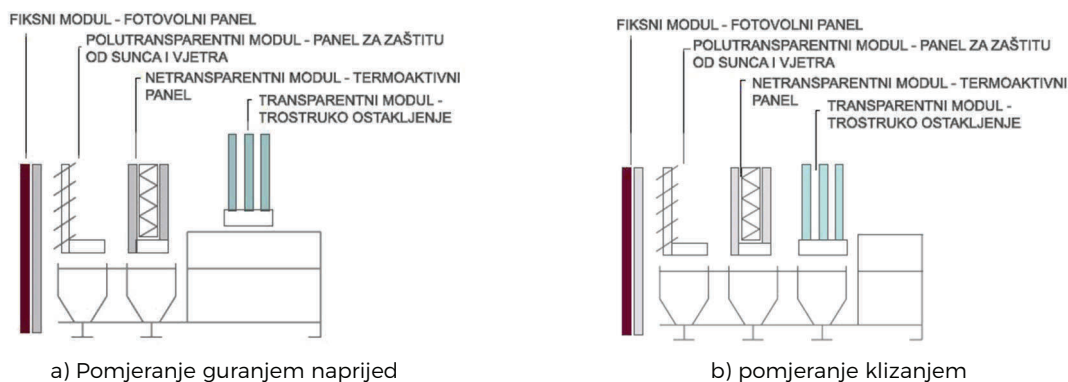


Slika 127. Termoaktivni panel $2^{\circ}\text{C Concept}$ s mikrokapsulama od parafinskog voska, granulirani parafin, grafitni PCM

- Treći polutransparentni modul jeste aluminijska žaluzina s mikrolamelama (transmisije svjetlosti 35%), koja ima funkciju zaštite od sunca i udara vjetra. Na ovaj način u objekat se uvodi difuzna svjetlost, što doprinosi reduciranju energetske potrebe.

- Četvrti netransparentni ili polutransparentni modul jeste fotonaponski modul. Njegova je funkcija generiranje sunčeve energije, a time i reduciranje energetske potrebe objekta. Modul je od tankog filma i čine ga solarne ćelije od amorfne silicija. Ovaj modul aplicira se na južnu, istočnu i zapadnu stranu i, pored primarne funkcije, može da pruži i zaštitu od sunca, kada je pojačana insolacija.

Adaptabilne ovojnice ovog tipa mogu se primijeniti kod projektiranja i izgradnje novih, ali i rehabilitacije starih objekata. Maksimalne veličine modula su blizu 6,0 m x 3,0 m (optimalno 3,0/3,0 m). Tehnike vješanja i montaže su jednostavne. S obzirom na zahtjeve korisnika i način pomjeranja i modificiranja ovojnice, determinirana su dva moguća konstruktivna rješenja (sistema). Mobilnost i prilagođavanje modula ostvaruje se automatski pomoću senzora ili se ručno kontrolira, a u jednom trenutku mogu biti aktivna maksimalno tri modula (slika 128).



Slika 128. Adaptabilne ovojnice i načini mobilnosti modula

Koncepti adaptabilnih ovojnica izražene su kompleksnosti, zasnovane na multifunkcionalnosti, slojevitosti, mobilnosti i prilagodljivosti modula prirodnim uvjetima okruženja. Ovim tehničkim rješenjima postiže se promjenljiv, dinamičan, jednostavan i visokosofisticiran dizajn ovojnica objekta. Pored toga, najveći benefit jeste optimalizacija toplinskog bilansa i uravnoteženost energetske potrebe za zagrijavanjem, hlađenjem i klimatiziranjem objekta. Praktičnim mehanizmima upravljanja, kontroliranja i umrežavanja ostvaruju se uštede pa su adaptabilne ovojnice energetske efikasna rješenja. Godišnje potrebe za toplotnom energijom predočenog objekta svedene su na nivo pasivne kuće do 15 kWh/m² (Schüco International KG, 2009).

Adaptabilne ovojnice pojavljuju se i pod nazivom *Wellness ovojnice* (eng. *well-being* što znači *dobrobit* i *fitness* što znači *biti u formi*), što najbolje opisuje značaj i prednosti ovog koncepta. Danas, funkcionalna adaptabilnost ovojnica objekta, inspirirana prirodnim modelima, predstavlja moderan, energetske i ekološki prihvatljiv dizajn, ostvaren primjenom novih materijala i konstruktivnih rješenja.